

## PENYISIHAN TOTAL PADATAN TERSUSPENSI DAN POLISAKARIDA DALAM AIR LAUT DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI MEMBRAN ULTRAFILTRASI *POLYSULFONE*

Nia Yusmaydiyanti<sup>\*)</sup> Heru Susanto<sup>\*\*)</sup> Sudarno<sup>\*\*)</sup>

Program Studi S1 Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudharto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email : niayusmay@yahoo.com

### Abstrak

*Desalinasi adalah proses pemisahan kandungan garam terlarut dari air yang mengandung garam atau air laut. Reverse Osmosis merupakan teknologi berbasis membran yang sering digunakan untuk proses desalinasi air laut. Pada penggunaannya, permasalahan yang kerap muncul adalah fouling dari bahan organik yang ada dalam umpan. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan membran ultrafiltrasi sebagai pretreatment reverse osmosis telah tumbuh berkembang, akan tetapi permasalahan fouling merupakan tantangan yang cukup signifikan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku fouling serta penyisihan total padatan tersuspensi dan material organik (polisakarida) pada air laut dengan menggunakan membran ultrafiltrasi polysulfone. Hasil penelitian ini menunjukkan fluks pada membran ultrafiltrasi polysulfone dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi garam dalam air laut. Semakin tinggi kandungan konsentrasi garam dalam larutan umpan maka akan semakin rendah fluks yang dihasilkan. Potensi fouling dalam penurunan nilai fluks yang lebih dominan ditunjukkan pada umpan polisakarida dibandingkan dengan umpan TSS. Akan tetapi potensi fouling yang lebih besar terjadi pada umpan campuran (TSS+polisakarida) dengan menghasilkan fluks yang lebih rendah dan rejeksi yang lebih tinggi. Membran ultrafiltrasi polysulfone mampu menyisihkan lebih dari 93% polisakarida dalam umpan tunggal, lebih dari 95% dalam umpan campuran dan 100 % padatan tersuspensi dalam umpan tunggal serta campuran. Hasil penelitian ini didukung dengan hasil uji FTIR dan SEM.*

**Kata Kunci:** air laut, membran, ultrafiltrasi, polisakarida, padatan tersuspensi.

### Abstract

#### **[Eliminating Total Suspended Solid and Polysaccharide in Sea Water Using Polysulfone Ultrafiltration Membrane Technology]**

*Desalination is a separation process used to reduce the dissolved salt content of saline water or sea water to a usable level. One of the membrane technologies for desalination process is reverse osmosis. The problem that often encountered in membrane process is fouling from organic matter present in feed water. In recent years, the use of ultrafiltration membranes as pretreatment for reverse osmosis has gained in popularity, but fouling is a significant challenge in the implementation of the ultrafiltration membrane. This study is carried to determine the fouling behavior and to remove total suspended solids and organic matter (polysaccharide) in seawater using polysulfone ultrafiltration membrane. The results showed that flux in polysulfone ultrafiltration membrane was affected by salt concentration in seawater. The higher salt concentration in feed water is, the lower flux is resulted. Decreasing flux is more dominant in the feed with polysaccharide than with TSS. But the greater potential fouling occurs in mix feed (TSS+polysaccharide) with lower flux and higher rejection. Polysulfone ultrafiltration membrane is capable of removing more than 93% polysaccharides in feed sodium alginate, more than 95% in mix feed and 100% suspended solids in feed kaolin and mix feed. The results of this study are supported by the results of FTIR and SEM test.*

**Keywords:** Seawater, membrane, ultrafiltration, polysaccharide, suspended solids.

## 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan krisis air yang semakin terjadi, desalinasi air laut merupakan salah satu alternatif solusi yang terus dikembangkan. *Reverse Osmosis* merupakan teknologi berbasis membran yang sering digunakan untuk proses desalinasi air laut. Pada penggunaannya, permasalahan yang kerap muncul pada membran *reverse osmosis* adalah *fouling*. Oleh karena itu pengendalian *fouling* merupakan langkah yang sangat penting (Susanto, 2010).

Efisiensi dari proses membran untuk produksi air minum sangat tergantung pada efek *fouling* dari bahan organik yang ada dalam umpan. Secara umum, kehadiran bahan organik alami (*Natural Organic Matter/NOM*) dalam air dapat bereaksi dengan klorin, untuk membentuk *disinfection by products* (DBPs) seperti trihalomethanes (THMs), asam haloacetic (HAAs) dan organik terhalogenasi lainnya yang bersifat karsinogenik (Parsons et al., 2004).

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penempatan membran ultrafiltrasi sebelum *reverse osmosis* dapat mengurangi terjadinya *fouling* (Lorain, 2006; Ma, 2007; Voutchkov, 2010; Profio, 2011). Dalam beberapa tahun terakhir penggunaan membran ultrafiltrasi sebagai *pretreatment* air laut telah tumbuh berkembang, akan tetapi permasalahan *fouling* merupakan tantangan yang cukup signifikan dalam penerapan sistem *pretreatment* dengan membran ultrafiltrasi (Resosudarmo et al., 2013).

Membran yang digunakan pada penelitian ini ialah membran Mikrofiltrasi *Polyetersulfone* (MF PES) yang berfungsi sebagai pembanding dan Membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* (UF PS) sebagai objek yang diteliti. Perbedaannya terletak pada ukuran pori dan sifat yang dimiliki, dimana MF PS berukuran 0.04-1.2  $\mu\text{m}$  bersifat hidrofilik dan UF PS memiliki MWCO 20 kDa bersifat hidrofobik. Sifat hidrofobik yang dimiliki oleh membran polysulfone ini yang menyebabkan permeabilitasnya untuk larutan air yang tidak terlalu baik. Membran *Polyethersulfone* (PES) dan *Polysulfone* (PS) memiliki karakteristik yang hampir sama dikarenakan sama-sama memiliki gugus sulfon dalam struktur polimernya. Karakteristik yang dimilikinya antara lain; memiliki stabilitas termal yang tinggi, toleransi pH yang luas, memiliki daya lekat yang baik, serta ketahanan

terhadap klorin yang relatif bagus (Susanto, 2011).

Pada penelitian ini umpan yang digunakan adalah umpan tunggal padatan tersuspensi (kaolin), umpan tunggal polisakarida (sodium alginat) dan umpan campuran keduanya (kaolin+sodium alginat). Tujuan dari penggunaan umpan tunggal yaitu untuk mengetahui bagaimana fenomena dan kontribusi *fouling* yang ditimbulkan oleh masing masing foulant, sedangkan penggunaan umpan campuran bertujuan untuk mengetahui fenomena *fouling* yang lebih kompleks berdasarkan efek kombinasi yang ditimbulkan oleh kedua foulant tersebut.

Studi tentang penyisihan material organik pada membran ultrafiltrasi telah banyak dilakukan (Katsoufidou et al., 2005; Jermann et al., 2007; Ven et al., 2008; Resosudarmo et al., 2013). Namun, studi spesifik pada lingkungan dengan salinitas tinggi seperti air laut khususnya dengan variasi cakupan konsentrasi garam yang tinggi (10,000 mg NaCl/L, 20,000 mg NaCl/L dan 30,000 mg NaCl/L) dan sebaran salinitas yang beragam belum banyak dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku *fouling* serta penyisihan total padatan tersuspensi dan polisakarida pada air laut khususnya dengan menggunakan membran ultrafiltrasi *polysulfone*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- Larutan Garam dengan variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 0 mg NaCl/L (Fresh Water); 10,000 mg NaCl/L; 20,000 mg NaCl/L dan 30,000 mg NaCl/L. NaCl teknis yang digunakan berasal dari toko kimia Indrasari, Semarang.
- Sodium alginat teknis ( $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ ) sebagai polisakarida (Jermann, 2007) yang dibeli dari toko kimia Indrasari, Semarang dengan konsentrasi seperti pada Tabel 1.
- Kaolin teknis ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sebagai TSS (Jermann, 2007) yang dibeli dari toko kimia Indrasari, Semarang dengan konsentrasi seperti pada Tabel 1.
- Aquadest
- Kertas saring dengan ukuran pori 0.45  $\mu\text{m}$ .
- Fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ )
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat

- h. Spesifikasi Membran, seperti pada Tabel 2.

Tabel 1 Konsentrasi Parameter

Parameter	Konsentrasi
Kaolin	100 mg/L (MF) 10 mg/L (UF)
Sodium Alginat	50 mg/L

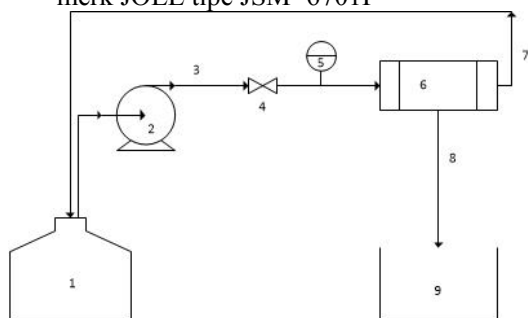
Tabel 2 Spesifikasi Membran

Spesifikasi	Membran Mikrofiltrasi	Membran Ultrafiltrasi
Nama Produk	Membrana	Alfa Laval
Tipe	Flat sheet membrane	Flat sheet membrane
MWCO	0.04 - 1.2 $\mu$ m	20 kilodalton
Polimer	MicroPES	GR61PP
Pembuat	Polyetersulfone	Polysulfone

## 2.2 Alat

Alat yang digunakan diantaranya adalah sebagai berikut:

- Unit Filtrasi membran, seperti yang terlihat pada Gambar 1.
- Alat pencetak membran
- Turbidimeter Scientific.inc MicroTPW*
- Spektrofotometer Genesys 10S UV-Vis*
- FTIR Shimadzu IR Prestige-21*
- Scanning Electron Microscope (SEM)* merk JOEL tipe JSM- 6701F



Gambar 1 Rangkaian Alat Penelitian: Unit Filtrasi Membran

Keterangan alat :

- Larutan umpan
- Pompa KEMFLO Reverse Osmosis dengan Spesifikasi  
Nominal Flow Rate : 1.0 LPM  
Max Pump output : 110 Psi  
Max Inlete Pressure : 60 Psi  
Voltage : 24 VDC
- Aliran umpan

- Valve
- Pressure gauge
- Modul membran
- Aliran retentat
- Aliran permeat
- Permeat

## 2.3 Prosedur Penelitian

Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain; suhu ruangan yaitu 24-25°C, dan tekanan 1 bar (UF) dan 0.5 bar (MF). Sebelum dilakukan filtrasi membran direndam dalam air suling selama 30 menit untuk membersihkan membran. Kemudian dilakukan kompaksi selama 30 menit untuk mengecek ketahanan membran.

Filtrasi dilakukan selama 2 jam dengan pengambilan permeat untuk uji fluks dilakukan setiap 4 menit dan untuk rejeksi 20 menit. Untuk pengujian fluks dilakukan perhitungan nilai fluks sebagai berikut:

$$J = \frac{V}{A \times t}$$

Dimana V adalah volume permeat (liter), A adalah luas permukaan membran ( $m^2$ ), waktu (jam). Selanjutnya dihitung juga rejeksi TSS dan Polisakarida dari permeat yang dihasilkan dengan rumus :

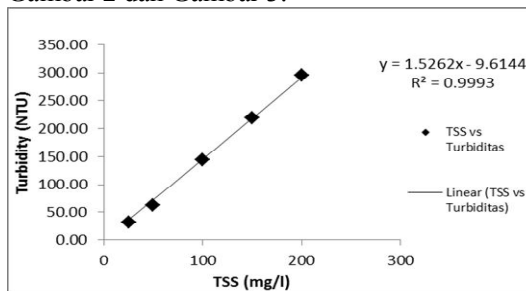
$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana  $C_p$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam permeat dan  $C_f$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam umpan.

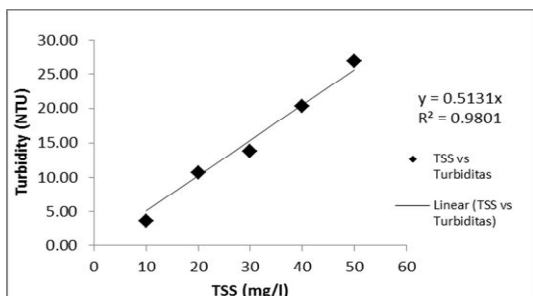
## 2.4 Metode Analisis

### 2.4.1 Uji Parameter TSS dan Uji Kekeruhan

Penentuan konsentrasi permeat dihitung berdasarkan kurva standar hubungan antara TSS dengan turbiditas dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



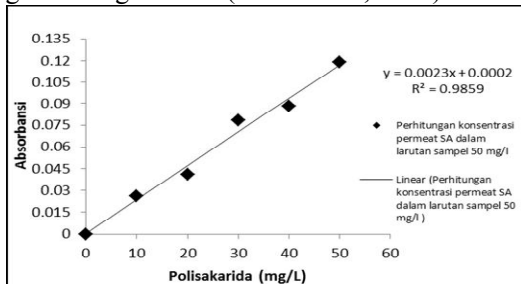
Gambar 2 Kurva Standar Hubungan antara TSS dengan Turbiditas untuk Membran Mikrofiltrasi PES



Gambar 3 Kurva Standar Hubungan antara TSS dengan Turbiditas untuk Membran Ultrafiltrasi PS

#### 2.4.2 Uji Parameter Kadar Polisakarida

Rejeksi membran ditentukan dengan menggunakan metode phenol sulfuric acid, dimana larutan permeat direaksikan dengan fenol 5% dan asam sulfat pekat dengan perbandingan 1:1:5. Artinya 1 ml larutan sampel untuk 1 ml fenol dan 5 ml asam sulfat. Larutan dikocok dan dibiarkan sampai dingin selama 1 jam kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer visible pada panjang gelombang 488 nm (Bhatti et al., 2013).



Gambar 4 Kurva Standar Polisakarida

#### 2.4.3 Karakterisasi Fouling pada Permukaan Membran Ultrafiltrasi Polysulfone

##### a. Uji Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

Pengujian dengan FTIR tujuannya adalah untuk mengetahui gugus fungsional pada permukaan membran, dengan menggunakan alat FTIR Shimadzu IR Prestige-21 yang dilakukan pada Laboratorium Separasi Teknik Kimia Universitas Diponegoro.

##### b. Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

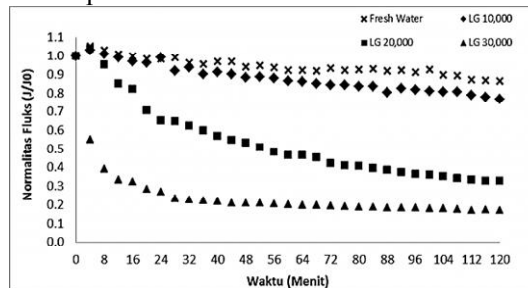
Pengujian dengan SEM ini menggunakan alat Scanning Electron Microscope merk JOEL tipe JSM- 6701F dan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui morfologi permukaan membran akibat fouling yang dilakukan pada Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

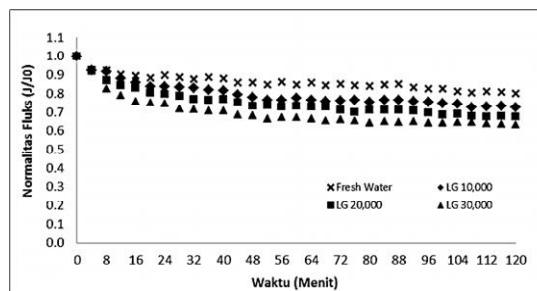
#### 3.1 Pengaruh Konsentrasi Garam dalam Air Laut terhadap Kinerja Membran

##### 3.1.1 Air Laut yang Mengandung Total Padatan Tersuspensi

Hasil pengujian normalitas fluks (J/J0) dengan Umpan 100 mg/L kaolin pada membran Mikrofiltrasi *Polyetersulfone* (PES) dan 10 mg/L kaolin pada membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* (PS) dapat dilihat pada dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Kurva J/J0 dengan Nilai J0 Rata-rata 2.272.412 L/m<sup>2</sup>.jam pada Umpan 100 mg/L TSS Pada Variasi Konsentrasi Garam dalam Air Laut dengan Menggunakan Membran Mikrofiltrasi PES



Gambar 6 Kurva J/J0 dengan Nilai J0 Rata-rata 63.694 L/m<sup>2</sup>.jam pada Umpan 10 mg/L TSS Pada Variasi Konsentrasi Garam dalam Air Laut dengan Menggunakan Membran Ultrafiltrasi PS

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa secara umum pada membran mikrofiltrasi PES dan ultrafiltrasi PS terjadi penurunan fluks selama waktu operasi 120 menit. Dari keempat konsentrasi garam diatas yang menunjukkan penurunan fluks sangat signifikan adalah LG 30,000 (Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L). Pada membran mikrofiltrasi PES dengan umpan Fresh Water dan LG 10,000 (Larutan Garam 10,000 mg NaCl/L) untuk waktu operasi selama 120 menit menunjukkan penurunan fluks yang cenderung datar. Hal tersebut dikarenakan pada larutan dengan kandungan tanpa garam atau dengan konsentrasi garam yang rendah tidak

memberikan efek *fouling* yang cukup signifikan.

Pada Fresh Water, kaolin cenderung menyebabkan terjadinya konsentrasi polarisasi dimana kaolin yang menutupi permukaan membran akan lebih mudah tersapu dengan aliran *cross flow*. Pada membran ultrafiltrasi PS, penurunan fluks yang signifikan terjadi berdasarkan peningkatan konsentrasi garam dalam larutan umpan. Dari kedua gambar diatas, terlihat bahwa seiring dengan berjalannya waktu, potensi *fouling* lebih dominan terjadi pada konsentrasi garam yang tinggi. Hal tersebut sesuai dengan Song dan Singh (2005) yang pada penelitiannya menggunakan koloid silika, menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi garam maka akan menghasilkan nilai fluks yang semakin rendah dan semakin tinggi potensi *fouling* nya. Fenomena tersebut dapat dijelaskan berdasarkan kestabilan koloid.

Kestabilan koloid terjadi karena koloid bermuatan negatif (Kaya dan Yuksele, 2002) akan menarik ion yang berlawanan, dalam penelitian ini yaitu  $\text{Na}^+$  pada larutan umpan, yang akan membentuk lapisan pelindung di sekelilingnya. Keadaan ini menghasilkan *electrical double layer* dari muatan positif dan negatif. Oleh karena itu jika kekuatan ionik di dalam air rendah (larutan umpan Fresh Water), maka koloid akan tetap stabil. Jika kekuatan ionik di dalam air cukup tinggi (larutan umpan LG 10,000; 20,000 dan 30,000 mg NaCl/L), maka keberadaan koloid di dalam air sudah dalam bentuk terdestabilisasi. Destabilisasi tersebut disebabkan oleh adanya ion monovalen ( $\text{Na}^+$ ) yang berada di dalam air yang akan mengurangi pengaruh muatan pada kaolin sehingga membentuk agregat dan menyebabkan *fouling* pada permukaan membran.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil rejeksi TSS dalam umpan tunggal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Rejeksi TSS dalam Air Laut dengan Umpan Tunggal

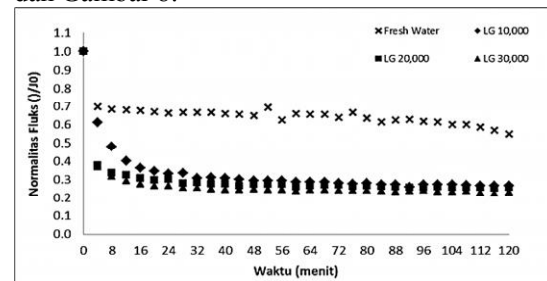
Permeat	Rejeksi TSS (%)	
	MF PES	UF PS
Fresh Water	92.08	100
LG 10,000	92.08	100
LG 20,000	92.20	100
LG 30,000	92.74	100

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa membran mikrofiltrasi PES dapat menyisihkan TSS lebih dari 92%, sedangkan untuk membran ultrafiltrasi PS dapat menyisihkan 100% TSS atau dengan kata lain membran ultrafiltrasi PS dapat menyisihkan TSS dengan sempurna. Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat perbedaan rejeksi TSS pada membran ultrafiltrasi yang lebih signifikan dibandingkan dengan membran mikrofiltrasi, hal ini dapat dijelaskan berdasarkan kegunaan membran dalam penyisihan material tertentu.

Selain berdasarkan kegunaan membran, pori membran juga berpengaruh terhadap besarnya rejeksi seperti dalam penelitian Lau (2013) bahwa semakin besar pori maka tingkat rejeksi kekeruhan akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena prinsip penyisihan untuk parameter kekeruhan dalam membran yaitu pemisahan dengan mekanisme pengayakan (*sieving mechanism*) yang berarti bahwa partikel dalam umpan yang memiliki ukuran lebih kecil dari pori membran akan lolos, sedangkan partikel yang lebih besar dari pori membran akan tertahan. Mekanisme pemisahan ini juga dapat terjadi baik di permukaan membran maupun di dalam membran. Hal itu disebabkan karena semakin besarnya pori maka kemampuan untuk meloloskan umpan semakin tinggi. Perlu diketahui bahwa ukuran diameter kaolin adalah 350 nm dimana 100 kDa ~ 10 nm (Jermann et al., 2007).

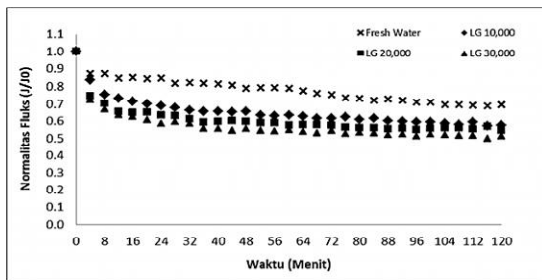
### 3.1.2 Air Laut yang Mengandung Polisakarida

Hasil pengujian normalitas fluks (J/J0) dengan Umpan 50 mg/L sodium alginat pada membran Mikrofiltrasi *Polyetersulfone* (PES) dan membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* (PS) dapat dilihat pada dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Kurva J/J0 dengan Nilai J0 Rata-rata 258.568 L/m<sup>2</sup>.jam pada Umpan 50 mg/L Polisakarida Pada Variasi Konsentrasi Garam dalam Air Laut dengan Menggunakan Membran Mikrofiltrasi PES





Gambar 8 Kurva  $J/J_0$  dengan Nilai  $J_0$  Rata-rata  $66.727 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  pada Umpan  $50 \text{ mg/L}$  Polisakarida Pada Variasi Konsentrasi Garam dalam Air Laut dengan Menggunakan Membran Ultrafiltrasi PS

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa selama waktu operasi 120 menit pada setiap jenis membran, mengalami penurunan fluks dari waktu ke waktu. Pengaruh kumpulan partikel di permukaan membran pada awalnya cukup signifikan, dengan bertambahnya waktu filtrasi dapat membuat perpindahan material *foulant* pada permukaan membran semakin berkurang sehingga pengaruhnya terhadap penurunan fluks juga berkurang. Adanya penumpukan dari lapisan *cake* yang terbentuk memberikan penurunan fluks yang mempunyai selisih sedikit pada interval waktu selanjutnya.

Adanya kehadiran polisakarida yang direpresentasikan dengan sodium alginat merupakan sumber penyebab *fouling*. Semakin tinggi kandungan garam dalam umpan juga memberikan efek *fouling* yang lebih kuat, sehingga fluks yang dihasilkan pun akan semakin rendah. Kondisi ini terjadi pada membran ultrafiltrasi, tetapi pada membran mikrofiltrasi tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Pada membran mikrofiltrasi, peningkatan konsentrasi garam antara LG 10,000; LG 20,000 dan LG 30,000 tidak diikuti dengan penurunan fluks yang signifikan.

Resosudarmo et al. (2013) menyebutkan bahwa konsentrasi tinggi garam yang ada di dalam air laut secara signifikan dapat meningkatkan potensi *fouling* bahan organik. Germann et al., (2007) juga menjelaskan bahwa interaksi sodium alginat pada membran dapat menghasilkan *electrostatic repulsion* yang kuat. Hal tersebut dikarenakan sodium alginat dan membran masing masing bermuatan negatif (Ven et al., 2008). Akan tetapi, kehadiran ion dalam penelitian ini secara substansial dapat mengurangi pengaruh muatan pada membran sehingga interaksi antara membran dan molekul alginat akan meningkat karena gaya tolak menolak elektrostatis antara molekul alginat

dan antara molekul alginat dengan permukaan membran mengalami penurunan (Lee et al., 2006; Ven et al., 2008 dan Resosudarmo et al., 2012). Begitupun menurut Listiari et al. (2011), penambahan garam untuk larutan yang mengandung sodium alginat akan membentuk gel yang akan meningkatkan ukuran agregat dari sodium alginat tersebut sehingga menjadi penyebab *fouling*. Hal tersebut menjelaskan bagaimana pengaruh kondisi garam yang tinggi terhadap *fouling* yang terbentuk selama proses filtrasi.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil rejeksi polisakarida dalam umpan tunggal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Rejeksi Polisakarida dalam Air Laut dengan Umpan Tunggal

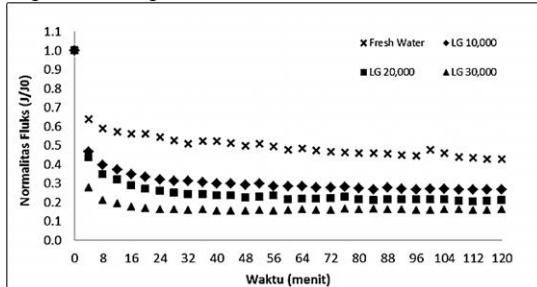
Permeat	Rejeksi Polisakarida (%)	
	MF PES	UF PS
Fresh Water	53.67	93.16
LG 10,000	47.83	93.68
LG 20,000	57.12	94.99
LG 30,000	60.45	97.35

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa membran mikrofiltrasi PES dapat menyisihkan sodium alginat sekitar 50-60%, sedangkan untuk membran ultrafiltrasi PS dapat menyisihkan lebih dari 93% sodium alginat. Proses pengayakan/*sieving mechanism* terjadi selama proses pengolahan menggunakan unit membran yang menyebabkan umpan terpisah berdasarkan ukuran sesuai dengan ukuran pori membran yang digunakan. Selain berdasarkan kegunaan membran, pori membran juga berpengaruh terhadap besarnya rejeksi, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya pada sub bab sebelumnya.

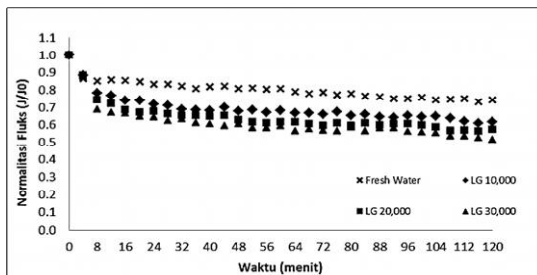
Perlu diketahui bahwa sodium alginat mempunyai berat molekul antara 12-80 kDa (Jerman et al., 2009) sehingga dalam penyisihan sodium alginat sebagai polisakarida yang lebih optimal adalah dengan menggunakan membran ultrafiltrasi karena kontribusinya terhadap *fouling* akan cukup signifikan karena partikel-partikel sodium alginat tersebut terakumulasi di dekat permukaan membran maupun di sekitar pori membran yang menurunkan kinerja membran, sedangkan untuk membran mikrofiltrasi memiliki kecenderungan meloloskan sodium alginat.

### 3.1.3 Air Laut yang Mengandung Total Padatan Tersuspensi dan Polisakarida

Hasil pengujian normalitas fluks ( $J/J_0$ ) dengan Umpan 100 mg/L kaolin + 50 mg/L sodium alginat pada membran Mikrofiltrasi *Polyetersulfone* (PES) dan 10 mg/L kaolin + 50 mg/L sodium alginat pada membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* (PS) dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Kurva  $J/J_0$  dengan Nilai  $J_0$  Rata-rata 298.215  $L/m^2.jam$  pada Umpan 100 mg/L TSS dan 50 mg/L Polisakarida Pada Variasi Konsentrasi Garam dalam Air Laut dengan Menggunakan Membran Mikrofiltrasi PES



Gambar 10 Kurva  $J/J_0$  dengan Nilai  $J_0$  Rata-rata 57.628  $L/m^2.jam$  pada Umpan 10 mg/L TSS dan 50 mg/L Polisakarida Pada Variasi Konsentrasi Garam dalam Air Laut dengan Menggunakan Membran Ultrafiltrasi PS

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan garam dalam larutan umpan dapat memberikan efek *fouling* yang lebih kuat pada setiap membran sehingga terjadi penurunan fluks dari waktu ke waktu. Kehadiran sodium alginat dan kaolin juga memunculkan potensi *fouling* yang lebih besar. Pada Gambar 9 dan Gambar 10 dengan umpan campuran antara kaolin dan sodium alginat, jika dibandingkan dengan Gambar 5 dan Gambar 6 (umpan kaolin) serta Gambar 7 dan Gambar 8 (umpan sodium alginat), maka Gambar 9 dan Gambar 10 memiliki kecenderungan seperti Gambar 7 dan Gambar 8. Dengan kata lain, fluks dengan umpan campuran antara kaolin dan sodium alginat

cenderung seperti fluks pada umpan sodium alginat.

Aliran umpan dengan kekuatan ion yang tinggi dapat mengurangi *electrical double layer* sehingga gaya elektrostatis antar partikel sebagian besar dapat ditekan dan interaksi non-elektrostatis menjadi dominan (Motsa et al., 2015). Adanya *electrical double layer* pada larutan umpan dapat menyebabkan menurunnya gaya tolak menolak antara muatan membran yang negatif dengan muatan pada larutan umpan. Pengurangan *electrical double layer* antara partikel *foulant* dapat membentuk *cake layer* di permukaan membran.

Adanya sodium alginat dan kaolin secara bersamaan dapat menghasilkan *cake layer* yang lebih tebal di permukaan membran sehingga rejeksi nya pun semakin meningkat. Proses terdosisinya partikel pada permukaan membran inilah yang akan membentuk lapisan gel yang biasa disebut sebagai *secondary membrane* (Lopes et al., 2005). Lapisan gel yang terbentuk pada permukaan membran ini juga mengakibatkan pengecilan ukuran pori membran sehingga dapat meningkatkan selektivitas membran.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil rejeksi kaolin dan polisakarida dalam air laut yang mengandung campuran total padatan tersuspensi dan polisakarida dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Rejeksi TSS dalam Air Laut dengan Umpan Campuran

Permeat	Rejeksi TSS (%)	
	MF PES	UF PS
Fresh Water	~92	100
LG 10,000	~92	100
LG 20,000	~92	100
LG 30,000	~92	100

Tabel 6 Rejeksi Polisakarida dalam Air Laut dengan Umpan Campuran

Permeat	Rejeksi Polisakarida (%)	
	MF PES	UF PS
Fresh Water	70.54	95.05
LG 10,000	67.67	95.52
LG 20,000	73.67	96.15
LG 30,000	86.39	97.39

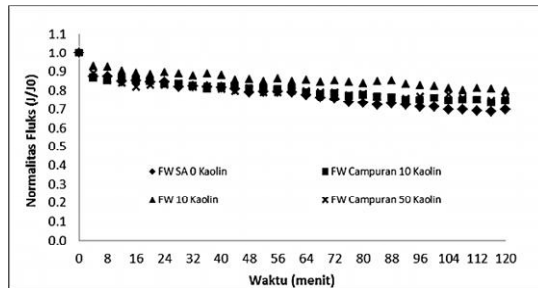
Dari Tabel 5 dan Tabel 6 dapat dilihat bahwa membran mikrofiltrasi PES dapat menyisihkan TSS sekitar 92%, sedangkan untuk membran ultrafiltrasi PS dapat

menyisihkan 100% TSS. Untuk penyisihan Polisakarida, membran mikrofiltrasi PES dapat menyisihkan kurang lebih 70%, sedangkan untuk membran ultrafiltrasi PS dapat menyisihkan lebih dari 95% sodium alginat.

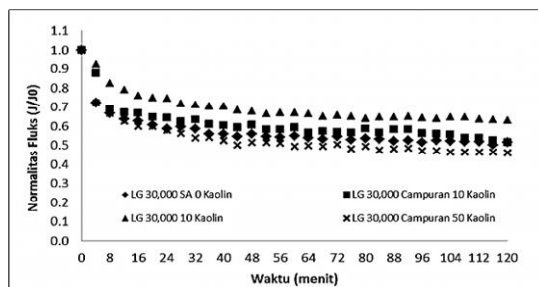
Berdasarkan Tabel 6 jika dibandingkan dengan Tabel 3 dan 4 maka rejeksi sodium alginat yang lebih tinggi pada kedua membran terjadi pada umpan campuran antara kaolin dengan sodium alginat. Hal ini disebabkan karena *fouling* yang terbentuk pada permukaan membran lebih banyak sehingga rejeksi yang dihasilkan semakin besar. Konsentrasi ion pada umpan juga dapat mempengaruhi rejeksi, karena yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya dimana semakin tinggi konsentrasi ion maka akan meningkatkan *fouling*.

### 3.2 Pengaruh TSS terhadap Kinerja Membran Ultrafiltrasi Polysulfone

Hasil normalitas fluks pada membran ultrafiltrasi *polysulfone* dengan senyawa tunggal dan campuran ditampilkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11 Kurva  $J/J_0$  dengan Nilai  $J_0$  Rata-rata  $63.153 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  pada Umpan Polisakarida, TSS dan Campuran pada Fresh Water dengan Menggunakan Membran Ultrafiltrasi PS



Gambar 12 Kurva  $J/J_0$  dengan Nilai  $J_0$  Rata-rata  $62.448 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  pada Umpan Polisakarida, TSS dan Campuran pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L dengan Menggunakan Membran Ultrafiltrasi PS

Berdasarkan hasil pengujian fluks seperti pada Gambar 11 dapat diamati bahwa pada

Fresh Water antara umpan 0 ppm kaolin (umpan sodium alginat), 10 ppm kaolin tunggal, dan 10 ppm kaolin campuran memiliki normalitas fluks yang cenderung sama. Berbeda dengan Gambar 12 pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L yang menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi garam yang tinggi sehingga mempengaruhi penurunan fluks pada umpan 0 ppm kaolin (umpan sodium alginat), 10 ppm kaolin tunggal, dan 10 ppm kaolin campuran. Tetapi, penurunan fluks antara konsentrasi umpan tunggal dengan umpan campuran pada Gambar 12 tidak menunjukkan hasil perbedaan yang signifikan. Hal tersebut dapat terjadi karena umpan kaolin dalam membran ultrafiltrasi yang sangat kecil (10 ppm) sehingga lebih mudah tersapu oleh aliran *cross flow* sehingga tidak memberikan kontribusi *fouling* dan penurunan fluks yang cukup berarti.

Asumsi tersebut dibuktikan pada Gambar 12 ditambahkan konsentrasi kaolin menjadi 50 ppm pada umpan campuran dan ternyata menghasilkan fluks yang lebih rendah dibandingkan dengan umpan yang lain. Hal ini sesuai dengan penelitian Jermain et al. (2007) yang menyebutkan bahwa fluks dengan umpan campuran akan memberikan kontribusi *fouling* yang lebih besar dibandingkan dengan umpan tunggal. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penurunan fluks signifikan ditunjukkan oleh *fouling* gabungan karena efek sinergis yang timbul dari total kontribusi antara silika koloid dan material organik sehubungan dengan peningkatan tekanan osmotik di permukaan membran (Lee et al., 2005; Li dan Elimelech, 2006). Kontribusi *fouling* yang lebih besar tersebut juga akan memberikan hasil rejeksi yang lebih besar pula, seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya.

Pernyataan diatas dapat dibuktikan dengan menunjukkan hasil rejeksi TSS dan polisakarida dalam Fresh Water dan Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L seperti terlihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7 Rejeksi TSS dan Polisakarida dalam Fresh Water

Permeat	Rejeksi (%)	
	TSS	Polisakarida
0 mg/L Kaolin	100	93.16
10 mg/L Kaolin	100	-
Tunggal		



Permeat	Rejeksi (%)	
	TSS	Polisakarida
10 mg/L Kaolin Campuran	100	95.05
50 mg/L Kaolin Campuran	100	95.42

Tabel 8 Rejeksi TSS dan Polisakarida dalam Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L

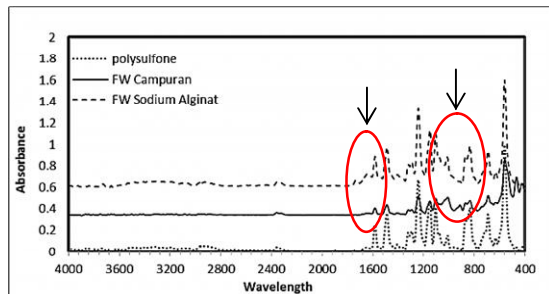
Permeat	Rejeksi (%)	
	TSS	Polisakarida
0 mg/L Kaolin Tunggal	100	97.35
10 mg/L Kaolin Tunggal	100	-
10 mg/L Kaolin Campuran	100	97.39
50 mg/L Kaolin Campuran	100	97.64

Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8 didapatkan hasil rejeksi yang mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kaolin dalam larutan umpan yang diikuti dengan menurunnya fluks. Dengan adanya penambahan kaolin 50 mg/L pada Fresh Water menghasilkan rejeksi sodium alginat yang lebih tinggi dibandingkan dengan umpan lainnya yaitu sebesar 95.42%. Hal yang sama juga ditunjukkan pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L dengan penambahan kaolin 50 mg/L menghasilkan rejeksi sodium alginat sebesar 97.64%.

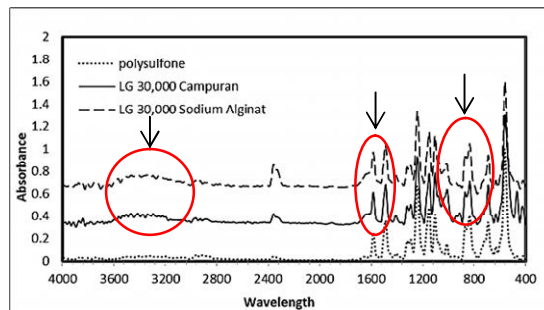
### 3.3 Karakterisasi *Fouling* pada Permukaan Membran Ultrafiltrasi *Polysulfone*

#### 3.3.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Untuk mengetahui bagaimana *fouling* pada permukaan membran maka dilakukan uji FTIR. Hasil uji FTIR untuk membran ultrafiltrasi *polysulfone* dengan umpan sodium alginat pada Fresh Water dan Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13 Hasil Uji FTIR pada Membran Ultrafiltrasi Polysulfone dengan Umpan Sodium Alginat pada Fresh Water



Gambar 14 Hasil Uji FTIR pada Membran Ultrafiltrasi Polysulfone dengan Umpan Sodium Alginat pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L

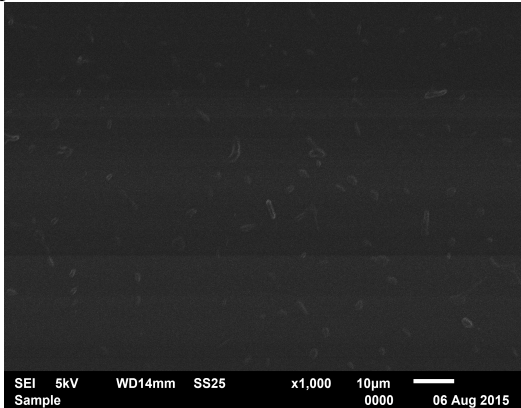
Dari kedua Gambar diatas dapat terlihat keberadaan puncak-puncak mempunyai panjang gelombang tertentu dimana puncak yang lebih signifikan terjadi pada Gambar 4.13 dibandingkan dengan Gambar 4.12, yaitu pada daerah sekitar 3500-3200  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus hidroksil (O-H) yang berikatan dengan hidrogen dan pada 3100-3000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus aromatik (C-H). Bilangan gelombang 1760-1665  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O) sebagai gugus aromatik, 1680-1640  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus alkena (-C=C-), 1320-1000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan gugus karboksil (C-O). Adapun alginat menurut Brown dan Muri (2005) merupakan polimer alam dengan gugus aromatik (R-O-R) yang mengandung gugus -OH, -COOH dan -CH, -C=C- dan -C=O. Natrium dalam isomer alginat terletak pada puncak serapan 1614  $\text{cm}^{-1}$  dan 1431  $\text{cm}^{-1}$  (Anshar dan Wahid, 2013). Menurut Stuart (2004), untuk kaolin pada daerah disekitar 3800-3400  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus O-H serta daerah 1300-400  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus Si-O stretching dan O-H bending. Dengan adanya kandungan Al(III) pada kaolin akan membentuk ikatan yang kuat pada daerah 1120-1000  $\text{cm}^{-1}$ .

Dengan demikian, hasil spektrum FTIR yang diperoleh menunjukkan bahwa *fouling* yang terjadi akibat sodium alginat lebih dominan pada umpan Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L dibandingkan dengan Fresh Water.

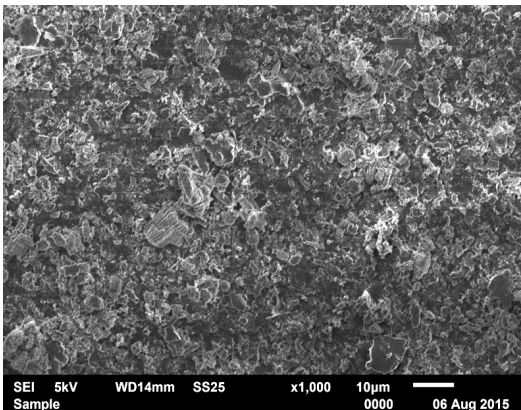
#### 3.3.2 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Analisis SEM menunjukkan bentuk dan perubahan atau morfologi permukaan dari

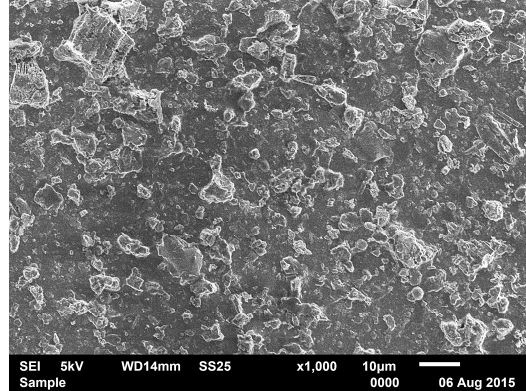
sampel yang dianalisis. Hasil SEM membran ultrafiltrasi *polysulfone* hasil filtrasi dapat menunjukkan perilaku *fouling* dari masing masing *foulant*. Membran ultrafiltrasi PS sebelum dilakukan filtrasi disajikan pada Gambar 15, hasil filtrasi dengan umpan campuran kaolin 10 mg/L dan sodium alginat 50 mg/L pada Fresh Water disajikan pada Gambar 16 dan pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L disajikan pada Gambar 17. Untuk umpan sodium alginat 50 mg/L pada Fresh Water ditunjukkan pada Gambar 18 dan pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L ditunjukkan pada Gambar 19.



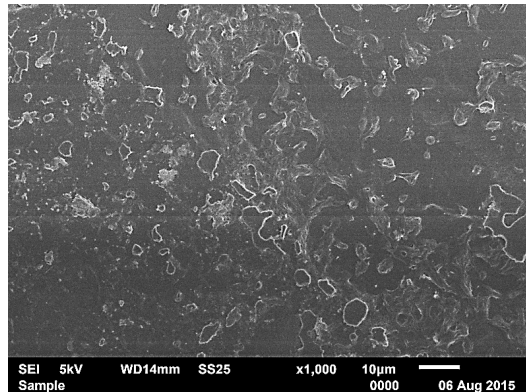
Gambar 15 Hasil Uji SEM pada Membran Ultrafiltrasi Polysulfone Sebelum Filtrasi



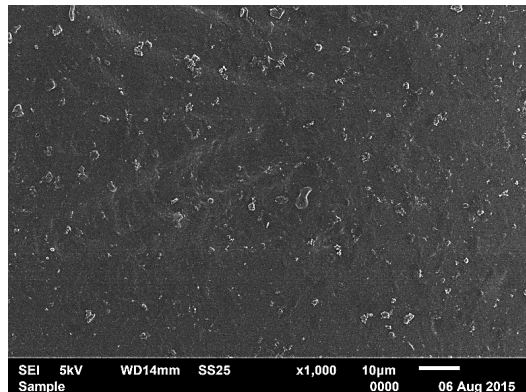
Gambar 16 Hasil Uji SEM pada Membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* dengan Umpan Campuran Kaolin 10 mg/L dan Sodium Alginat 50 mg/L pada Fresh Water



Gambar 17 Hasil Uji SEM pada Membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* dengan Umpan Campuran Kaolin 10 mg/L dan Sodium Alginat 50 mg/L pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L



Gambar 18 Hasil Uji SEM pada Membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* dengan Umpan Sodium Alginat 50 mg/L pada Fresh Water



Gambar 19 Hasil Uji SEM pada Membran Ultrafiltrasi *Polysulfone* dengan Umpan Sodium Alginat 50 mg/L pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L

Dengan membandingkan kelima Gambar diatas terlihat adanya perbedaan antara hasil SEM membran sebelum filtrasi dengan membran setelah filtrasi menggunakan larutan

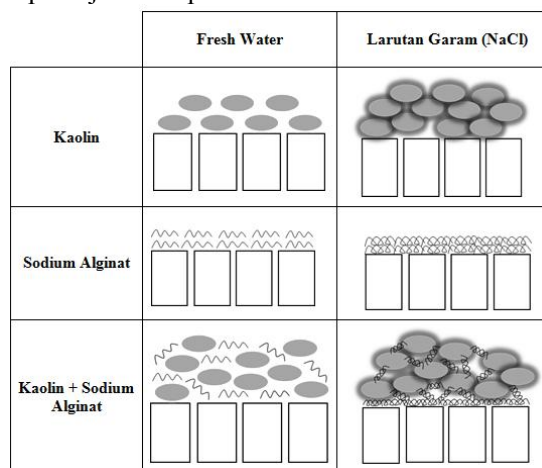
campuran kaolin dan sodium alginat maupun larutan sodium alginat tunggal. Pada kondisi Fresh Water (Gambar 16 dan Gambar 18) dengan Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L (Gambar 17 dan Gambar 19) menunjukkan fenomena yang berbeda, dimana dengan adanya kandungan garam yang tinggi dapat menyebabkan *foulant* saling berikatan membentuk agregat sehingga *fouling* yang dihasilkan lebih besar pengaruhnya dibandingkan dengan kondisi normal (Fresh Water).

Pada Gambar 16 dan Gambar 17 tampak bahwa akumulasi *fouling* pada permukaan membran lebih dominan terjadi pada campuran kaolin dengan sodium alginat dibandingkan dengan sodium alginat tunggal (Gambar 18 dan Gambar 19). Pada Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L, lapisan *fouling* yang terbentuk cenderung lebih memiliki struktur yang lebih besar. Hal ini dapat disebabkan karena pada kondisi ionik muatan kaolin, sodium alginat dan juga permukaan membran mengalami penurunan dan lebih mudah berikatan membentuk agregat (memperbesar struktur molekul). Dengan kondisi ion yang tinggi, kaolin dapat mengadsorpsi sodium alginat dimana sodium alginat tersebut juga teradsorpsi oleh permukaan membran atau kedalam pori membran. Adanya adsorpsi kaolin dengan sodium alginat inilah yang menjadi penyebab utama terbentuknya *cake layer* yang lebih dominan pada permukaan membran dengan umpan Larutan Garam 30,000 mg NaCl/L. Asumsi ini sesuai dengan Zularisam et al. (2011) yang menyebutkan bahwa material organik akan membentuk struktur lapisan *fouling* yang berfungsi sebagai "lem" untuk konstituen anorganik, dimana dalam penelitiannya polisakarida yang digunakan adalah dextran.

Pada Gambar 18 untuk umpan sodium alginat tunggal pada Fresh Water menunjukkan bahwa sodium alginat tersebar merata pada permukaan membran dan tidak saling berikatan satu sama lain karena tidak adanya pengaruh ion yang mempengaruhi muatan masing-masing. Pada Gambar 19 dengan adanya penambahan garam menyebabkan pembentukan molekul alginat yang lebih kompleks karena dapat mengurangi efek dari muatan molekul alginat tersebut, menyebabkan lebih banyak belitan rantai polimer yang lebih kompleks, serta dapat meningkatkan kepadatan

dari molekul-molekul alginat tersebut. Interaksi antara membran dan molekul alginat yang dapat menyebabkan *pore blocking* ataupun *pore narrowing*, akan tetapi berdasarkan sifat utamanya juga dapat membentuk lapisan gel pada permukaan membran. Struktur gel akibat sodium alginat yang terbentuk pada permukaan membran sangat tergantung pada lingkungan ionik, hal ini sesuai dengan penelitian Ven et al. (2008).

Perilaku *fouling* oleh kaolin dan sodium alginat dalam lingkungan yang berbeda tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 20.



Gambar 20 Ilustrasi Fenomena *Fouling* oleh Kaolin dan Sodium Alginat dalam Lingkungan yang Berbeda

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

1. Hasil fluks pada membran ultrafiltrasi polysulfone dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi garam dalam air laut, semakin tinggi kandungan konsentrasi garam dalam larutan umpan maka akan semakin rendah fluks yang dihasilkan. Membran ultrafiltrasi polysulfone mampu menyisihkan padatan tersuspensi 100% dalam umpan tunggal ataupun campuran dan mampu menyisihkan polisakarida lebih dari 93% untuk umpan tunggal dan lebih dari 95% untuk umpan campuran.
2. Potensi fouling dalam penurunan nilai fluks pada umpan tunggal yang lebih dominan ditunjukkan pada umpan polisakarida dibandingkan dengan umpan TSS, akan tetapi potensi fouling yang lebih besar terjadi pada umpan campuran dengan menghasilkan fluks yang lebih rendah dan rejeksi yang lebih tinggi.



Pengaruh garam dalam larutan umpan dapat menyebabkan penurunan fluks yang signifikan karena dapat membentuk agregat pada permukaan membran sebagai penyebab fouling. Hal ini juga dibuktikan berdasarkan hasil uji karakterisasi fouling pada membran ultrafiltrasi dengan menggunakan FTIR dan SEM.

#### 4.2 Saran

Penelitian ini telah memberikan pengetahuan tentang penggunaan teknologi membran ultrafiltrasi sebagai pretreatment reverse osmosis untuk mengolah air laut sintetik dengan variasi kandungan garam yang tinggi. Namun diperlukan penelitian lebih lanjut dalam penggunaan membran ultrafiltrasi untuk mengolah air laut yang alami (asli). Selain itu, diperlukan juga penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan peningkatan kinerja membran dengan memahami fenomena *fouling*, salah satunya mengenai interaksi antara alginat dengan kaolin.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

Penelitian ini dilakukan dengan dukungan secara teknis dan finansial oleh Mer-C (Membrane Research Center) Universitas Diponegoro.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anshar, A.M. dan Wahab, A.W. 2013. *Daya Hambat Ekstrak Na-Alginat dari Alga Coklat Jenis Sargassum Sp. terhadap Proses Pematangan Buah Mangga*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanudin, Makassar.
- Aroke, U. O., El-Nafaty, U., dan Osha, O. 2013. *Properties and Characterization of Kaolin Clay from Alkali, North-Eastern Nigeria*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Website: [www.ijetae.com](http://www.ijetae.com). (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 11, November 2013)
- Bhatti, M., Anjoo, K., dan Saluja, A.K. 2013. *Spectrophotometric Estimation Of Total Polysaccharides In Kalanchoe Pinnatum And Kalanchoe Crenata*. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences Vol 5, Issue 2, 2013 ISSN-0975-1491.
- Brown, P.J. and Muri, J.M. 2005. *Alginate Fibres*. In: *Blackburn RS, Ed. Biodegradable and Sustainable Fibres*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp: 89-109.
- Jermann, D., Pronk, W., Kagi, R., Schaarschmidt, N., Halbeisen, M., dan Boller, M. 2007. *Influence Of Particles On UF Fouling By NOM – Rethinking The Perception Of NOM Fouling*. [www.phd.poli.usp.br](http://www.phd.poli.usp.br)
- Jermann, D., Pronk, W., Boller, M., dan Schäfer, A.I. 2009. *The Role of NOM Fouling on The Retention of Estradiol and Ibuprofen During UF For Drinking Water Production*. Journal of Membrane Science 329 (2009) 75-84.
- Kaya, A., dan Yukselen, Y. 2003. *Zeta Potential of Kaolinite In The Presence of Alkali, Alkaline Earth and Hydrolyzable Metal Ions*. Water, Air and Soil Pollution 145 (2003) 155-168.
- Lau, W. J., Ismail, A.F., dan Firdaus, S. 2013. *Car Wash Industry in Malaysia: Treatment of Car Wash Effluent Using Ultrafiltration and Nanofiltration Membranes*. Separation dan Purification Technology 104, 26-31
- Lee, S., Ang, W. S., dan Elimelech, M. 2006. *Fouling of RO Membrane by Hydrophilic Organic Matter Implications for Water Reuse*. Desalination 187 (2006) 313-321.
- Lee, S., Cho, J., Elimelech, M. 2005. *Combined Influence of Natural Organic Matter (NOM) and Colloidal Particles on Nanofiltration Membrane Fouling*. Journal of Membrane Science 262 (2005) 27-41.
- Li, Q., dan Elimelech, M. 2006. *Synergistic Effects in Combined Fouling of a Loose Nanofiltration Membrane by Colloidal Materials and Natural Organic Matter*. Journal of Membrane Science 278 (2006) 72-82.
- Listiari, K., Chun, W., Sun, D.D., dan Leckie, J.O. 2009. *Fouling Mechanism and Resistance Analyses of System Containing Sodium Alginate, Calcium, Alum and Their Combination in Dead End Fouling of Nanofiltration Membranes*. Journal of Membrane Science 344 (2009) 244-251.
- Lopes, C.N., Petrus, J.C.C., dan Riella, H.G. 2005. *Color and COD Retention by Nanofiltration Membranes*. Desalination 172 (2005) 77-83.



- Lorain, O., Hersant, B., Persin, F., Grasmick, A., Brunard, N., dan Michel, J. 2006. *Ultrafiltration Membrane Pre-Treatment Benefits for Reverse Osmosis Process in Seawater Desalting*. Desalination 203 (2007) 277–285.
- Ma, W., Zhao, Y., dan Luwang. 2007. *The Pretreatment with Enhanced Coagulation and Ultrafiltration Membrane for Seawater Desalination with RO*. Desalination 203 (2007) 256–259.
- Motsa, M.M., Mamba, B.B., dan Verliefdde, A.R.D. 2015. *Combined Colloidal and Organic Fouling of FO Membranes: The Influence of Foulant–Foulant Interactions and Ionic Strength*. Journal of Membrane Science 493 (2015) 539–548.
- Parsons, S.A., Jefferson, B., Goslan, E.H., Jarvis, P.R., dan Fearing, D.A. 2004. *Natural Organic Matter – The Relationship Between Character and Treatability*. Water Science and Technology: Water Supply Vol 4 No 5–6 pp 43–48<sup>a</sup> IWA Publishing 2004.
- Profio, G. D., Ji, X., Curcio, E.F., dan Droli, E. 2011. *Submerged Hollow Fiber Ultrafiltration as Seawater Pretreatment in The Logic of Integrated Membrane Desalination System*. Desalination 269 (2011) 128–135
- Resosudarmo, A., Ye, Y., Le-Clech, P., dan Chen, V. 2013. *Analysis Of UF Membrane Fouling Mechanisms Caused By Organic Interactions In Seawater*. Water Research 47 (2013) 911–921.
- Song, L., dan Singh. 2005. *Influence Of Various Monovalent Cations And Calcium Ion On The Colloidal Fouling Potential*. Journal of Colloid and Interface Science 289 (2005) 479–487.
- Stuart, B.H. 2004. *Infrared Spectroscopy Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd. University of Technology, Sydney, Australia.
- Susanto, H. 2010. *Pengaruh Lingkungan Ionik Terhadap Fouling Adsorptif Senyawa Organik pada Membran Ultrafiltrasi*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ven, W.J.C., Wessling. M., Sant, K.V., Punt, I.G.M., Zwijnenburg. A., Kemperman, A.J.B., dan Meer, W.G.J. 2008. *Hollow Fiber Dead-End Ultrafiltration: Influence Of Ionic Environment On Filtration Of Alginates*. Journal of Membrane Science 308 (2008) 218–229.
- Voutchkov, N. 2010. *Considerations For Selection Of Seawater Filtration Pretreatment System*. Desalination 261 (2010) 354–364.
- Zularisam, A.W., Ahmad, A., Sakinah, M., Ismail, A.F., dan Matsuura, T. 2011. *Role of Natural Organic Matter (NOM), Colloidal Particles, and Solution Chemistry on Ultrafiltration Performance*. Separation and Purification Technology 78 (2011) 189–200.